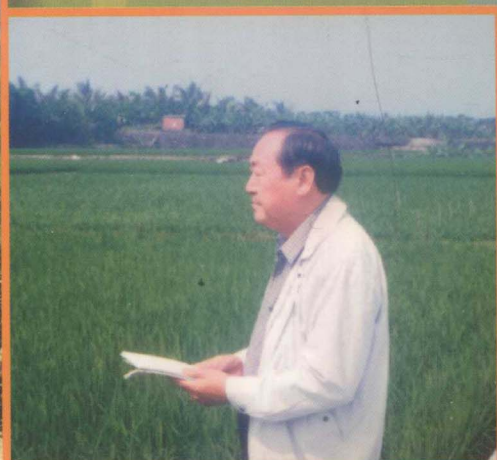


土壤肥力

植物營養基本觀念的探討

莊作權 著



作 者 簡 介

莊作權，1931 年出生於浙江省奉化市，1955 年畢業於台灣省立農學院農化系，先後獲美國夏威夷大學土壤學碩士（1964）及博士（1970）學位，專攻土壤化學及粘土礦物學。歷任台灣糖業研究所研究員及土壤肥料系主任（1957～1976），國立中興大學土壤系教授兼系主任，研究所長（1976～1982），亞太糧食肥料技術中心主任（1982～1986），國立中興大學土壤環境科學系教授（1982～1998）。並擔任台灣省及中華土壤肥料學會理事長，教育部及國科會學術審議委員，農業試驗所，菸葉試驗所，糖業研究所、香蕉研究所及林業試驗所研究評議員。先後獲中國農化學會，中華農學會及中華土壤肥料學會傑出學術成就獎。1995 及 1996 年分別受邀擔任浙江農業大學及西北農業大學客座教授。發表中、英文學術研究報告一百七十餘篇，著有植物營養學（1989）、土壤肥料（1997）、台灣土壤中鉍之吸附與固定（1999）及莊作權先生論文集（1994）等書。並於 1987、1998 年獲選入錄中華民國名人錄及 1998、1999 年美國世界名人錄。1998 年退休後，仍擔任中興大學土壤環境系兼任教授迄今。

土壤肥力植物營養基本觀念的探討

目 次

自序 -----	1
序 -----	3
施肥之基本觀念及方法上之考慮 -----	4
作物會選擇來自有機氮肥或化學氮肥中之 NH_4^+ 嗎？ -----	11
作物營養管理之基本原理 -----	14
作物吸收養分之來源及效率 -----	18
土壤中銨之固定與釋放是影響氮肥效及土壤肥力之重要因素	26
台灣水田氨揮失之機制與影響因子 -----	34
台灣蔗田氮肥施用量之訂定 -----	42
甘蔗葉片營養診斷之應用及其限制因子 -----	54
有機質肥料之應用與發展 -----	74
有機複合肥料之製造及對作物產量與肥力之效應 -----	88
鋅鐵錳間平衡對甘蔗生長及吸收養分之影響 -----	100
施鋅對甘蔗增產及養分吸收之效果 -----	111

自序

筆者曾在台灣糖業研究所服務二十年及中興大學任教二十二年，至退休共四十二年，一直在學術界及教育界工作，從事研究與教學。研究工作方面在台糖研究所以解決業務實用為主，當時急待解決的蔗田合理施肥問題，全力推動蔗葉植體營養診斷及肥力測定工作，前後有十年之久，舉辦一百二、三十個田間肥料試驗，工作量及壓力之大可想而知。後又從事微量元素鋅、硼之研究，也在解決當時蔗田缺鋅、硼症之問題。六十五年應邀至國立中興大學任教迄八十七年退休，教書以土壤化學、粘土礦物學及高等植物營養為專長；研究則從基本與應用二方面同時進行，幸運的是能獲國科會及農委會充分經費支援，能照志趣從事研究。二十二年的基本研究，一直以土壤中鉍之吸附與固定為主軸，並能深入研究，指導研究生們研究及助理們之協助，培養很多位土化專才及發表了一百七十多篇中、英文研究報告（前後四十年），最後（八十八年）出版了一本「台灣土壤中鉍之吸附與固定」（富林出版社）專書，作為對台灣土壤化學基礎研究的一種交代。出版後除少數出售外均分贈大陸及本省土壤界老、中、青學者，甚獲好評。應用研究則以水稻氮肥肥效增進及荔枝、葡萄柚之營養改進以及有機肥料（有機複合肥料）之礦化及肥效研究為主，也發表了不少報告。

退休後總覺得自己在教學與研究長達四十二年之時間中，應該有些教學與研究上的經驗心得，將學理與應用可融會貫通起來，至少有一些吧。但這一點也許是年青學術工作者及學生們要費事費時摸索的，不易在教科書上學到，因此筆者就教師以傾囊相授的心

情，以學理和實例結合，從中說明探討一些土壤肥力與植物營養常見常談現象及實例，以自己從事研究所獲一些心得，將學理深入淺出不以學術報告形式而以一般文體描述，希望能提供比較清皙及簡易瞭解的說明，供大家參考，以遂心願！

最後敬以先父逝世將十週年，先母逝世亦將三週之時，出版此書，以誌紀念。

2002 年 5 月 4 日

莊 作 權
國立中興大學
土壤環境科學系
教 授

序

台灣土壤科學發展在近五十年來，土壤化學是其中一門重要的學科，莊作權教授的教學及學術研究的歷程足以顯示台灣土壤化學的成長歷程，值得土壤學界的肯定。莊教授更是近四十多年來，將台灣土壤學界帶動成長的「領航者」，從事學術之研究甚為嚴謹，成果豐碩，獲得多項學術獎之肯定，更值得吾等後輩學者之尊敬。

莊教授以其資深豐厚土壤化學之基礎，於退休之後將過去多年在台灣糖業研究所之各地農場，從不同土壤之實際試驗，以及多年在國立中興大學土壤環境科學系之指導研究的成果及心得，從土壤肥力及植物營養學的角度，以實例與學理融合貫通，又用簡易的文字與方法表達學理之基本觀念以闡釋實例，是台灣本土土壤學方面實為難得的創作。

本書中有層次地探討土壤肥力及植物營養學，從施肥的基本觀念及方法上，有良好的引導方式，進而瞭解植物營養及其管理的基本原理，更對銨離子影響氮肥效的行為有獨特之見解，並由甘蔗之實例說明各種養分及微量元素之功效。此外，莊教授在有機質肥料之複合，以及有機質肥料之應用及發展有明確的方向及啓示，值得學界後輩深入探討。

莊教授對學習土壤後輩學子之關照及提拔，本人更為終生難忘，特此致謝，不敢為序，以言表內腑心聲。

楊 秋 忠
國 立 中 興 大 學
土 壤 環 境 科 學 系 教 授

2002. 4. 20

施肥之基本觀念及方法上之考慮

大家對施肥之基本觀念或目的都知道是供應作物養分及培植地力，但是培植地力可能不十分清楚如何能增進土壤肥力而培植地力。一般施用化肥的氮素肥料，最常見是尿素和硫銨，它們在土壤中經水解或溶解先成 NH_4^+ ，一部分再經硝化作用生成 NO_3^- 。 NO_3^- 態氮除被作物吸收外，是無法留存在土壤而增加地力。 NO_3^- 經流失或脫氮而損失。氮素肥料能增進地力的應是 NH_4^+ 變成固定態銨後而保存在土壤中，準確的說 NH_4^+ 被吸附在土壤膠體表面或被粘土礦物間層或表層（六孔面體）固定。根據我們多年的研究，這種固定態銨之量要比交換性銨量大幾倍到幾十倍，可能佔施肥氮素中20~30%，是非常不可忽視的事實。這個事實也說明：(一)固定態銨是施氮肥效低落重要因素之一；(二)固定態銨存在於土壤中是一種貯存，在適當土壤環境或作物迫切需求下，會釋放出來成為作物供應之養分，或成為地力增進之來源之一。

至於磷肥，大家都知道其利用率很低，一般不到 10%，絕大部份以不易利用之型態存在，但在土壤條件變更，如增加土壤水分，降低土壤 pH，施用有機質或施加溶磷菌等，它就變成有效性磷而被作物吸收利用。但許多台灣土壤長期施用磷肥，而普遍不缺磷，這就是增進地力的最好說明。鉀肥以氯化鉀及硫酸鉀為主，施入土壤即被溶解，除作物吸收外，大部份會流失，但也有一部分會被土壤中粘土礦物固定而成為非交換性鉀，而貯存於土壤中，在適當條件，類似固定態銨釋放機制變成交換性鉀而再被利用。

施肥最大的難題是方法，它的原則要適地適時。說起來容易，做起來真難。筆者一生從事土壤肥料工作，而且在甘蔗、水稻和一些果樹從事長期施肥及肥力研究，至今仍無十分把握和瞭解其過程，所以筆者一直認為施肥非但是一件高難度的技術，也是農業上一項藝術。先就適時來說，不但指要配合作物不同生長期所需，而且要考慮氣候條件，但如何能把握準確，真難！如無植物生理及營養以及氣象氣候基本智識，互為應用，不足達成"適時"之目標。再說適地，主要是指土壤條件，如無良好土壤學、土壤物理、化學及微生物學的智識，以及不同土壤對作物的適種情形。如要改良土壤以適合作物種植及良好生長，更是另一門大學問，這許多艱深知識，誰敢講他"通"了！

這裡我們要談的是我們現行施肥方法，一次基肥及二次追肥（特殊作物例外）及施肥量及分次分配量，表面看來有些配合台灣的氣候環境及作物生長所需。但仔細探討，這種傳統之施肥方法，仍有許多可檢討的地方。第一，我們是不分作物種類或土壤類別，均以二分之一或三分之一量作基肥，再均分作二次追肥之用（也有少數若干調整的例子），試問作物類別不同，養分吸收情況不同，不同作物不同生長期對養分需求不同，受氣候之影響情形，還有不同土壤之基本肥力狀況以及對不同作物供應養分之能力都有不同，許多變異因素，我們怎可一概而論所謂的"標準施肥法"及"標準施肥量"。同一作物在不同氣候條件及土壤條件下可能都需一種施肥方法及施肥量，才能保障作物最好產量。

這裡筆者願舉一個研究試驗的結果來說明施肥方法及施肥量

分配之重要。我們在 1996 年 4 月至 7 月選擇彰化埤頭試區及南投名間試區以水稻—玉米輪作進行不同有機肥料與化肥比較試驗。首先我們提一下二地之基本土壤肥力情況：

試區	O.M %	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ mg/kg	Bray No.1 P	CEC	K	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	備 註
名間	2.0	5.5	51.5	14.3	74.8	15	0.16	1.84	0.68	
埤頭	3.4	7.5	36.1	67.8	24.3	8	0.05	8.74	1.45	膨脹性粘土 礦物含量高， 固定態鉍量高

由上表可知兩地土壤最大的差別在 pH，名間試區為 5.5，偏酸性；埤頭試區 pH 為 7.5，中性略偏鹼性。CEC 差別很大，名間為 15cmol/kg，埤頭為 8cmol/kg，幾乎差一倍；就有效性氮（NH₄⁺ + NO₃⁻），名間為 65.8mg/kg，埤頭則為 103.9mg/kg，一般肥力均以埤頭為佳，僅有效性磷以名間 74.8mg/kg 較埤頭 24.3mg/kg 為高。同時埤頭土壤中含膨脹性粘土礦物量較高，固定態鉍亦較高。

現在我們要觀察的是兩試區水稻不同生長期時土壤中有效性氮，NH₄⁺-N 及 NO₃⁻-N 之含量是否能符合水稻生長所需。我們知道水稻在抽穗期最需要養分供應，而至成熟期應不需太多養分。我們先從圖一埤頭及名間試區不同水稻生長期之土壤有效性氮之分佈，可知埤頭試區在水稻抽穗期不同施肥處理土壤中有效性氮均在 55~70mg/kg 水準，但名間試區水稻在同樣抽穗期，土壤中有效性氮只在 40~45mg/kg 水準（圖一），顯然相差很多，可見名間土壤中氮之供應在水稻生長最需要期間，有不足情形。造成了在稻穀產量上的很大差異（埤頭試區化肥區 9450kg/ha，豬糞堆肥區

6556kg/ha；名間試區化肥區為 5220kg/ha 豬糞堆肥區為 4458kg/ha)，我們也有土壤中有效性磷及交換性鉀之分析資料，名

間土壤比

埤頭土壤

在不同水

稻生長期

均高，所

以影響水

稻產量之

主要因子

是水稻主

要生長期

時之土壤

氮供應不

足。同時

從圖一也

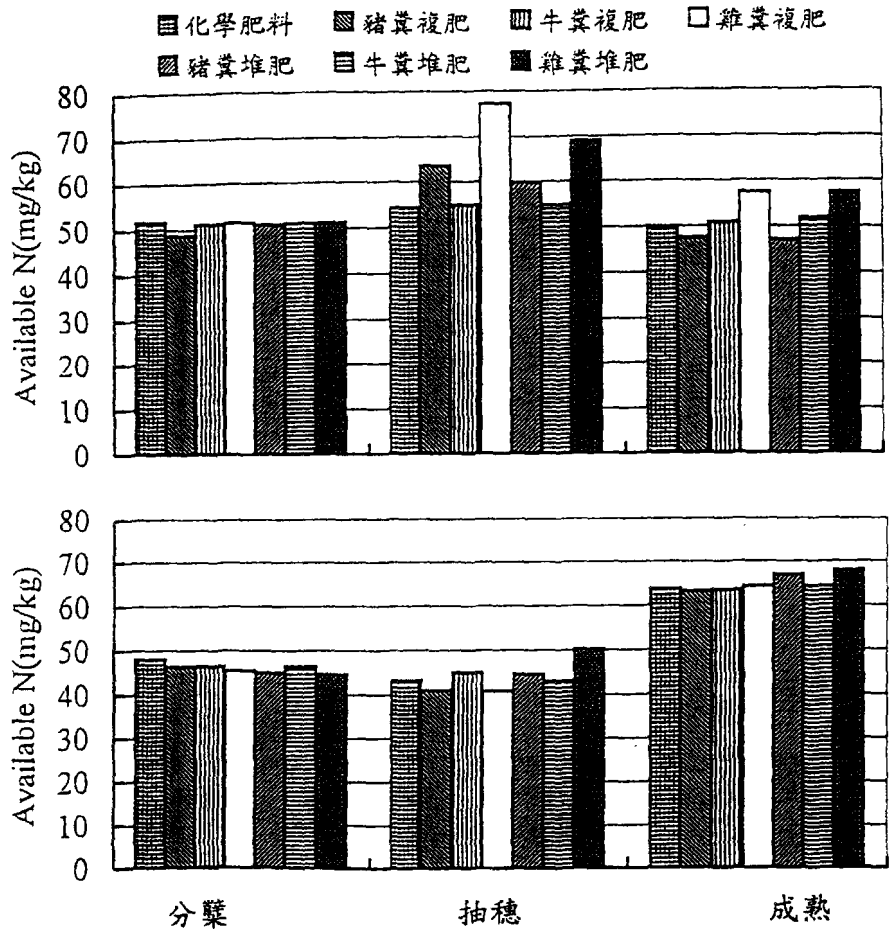
看出兩試

區土壤中

有效性氮

在水稻成

熟期，名間試區仍有 65mg/kg 之含量，而埤頭土壤中僅維持在 50mg/kg 左右，可見此時土壤中仍含有高量之有效性氮對水稻生長已屬浪費。



圖一：埤頭（上）及名間試區（下）水稻生長期中土壤有效性氮之變化

表一：埤頭及名間試區不同施肥在不同水稻生長期之土壤氮變化

土壤別	施肥處理	水 稻 生長期	有效性氮	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$
			mg/kg		
埤	化 肥	膝高期	52	44	7
		抽穗期	54	37	17
		成熟期	50	32	18
頭	豬糞堆肥	膝高期	51	44	10
		抽穗期	60	36	22
		成熟期	57	33	15
名	化 肥	膝高期	48	40	8
		抽穗期	43	29	13
		成熟期	64	34	29
間	豬糞堆肥	膝高期	46	40	6
		抽穗期	45	29	12
		成熟期	64	34	33

我們再進一步探討二試區不同施肥處理在不同水稻生長期中，土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 及 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 之消長變化是否能配合水稻生長所需。施肥後及土壤中有機質礦化後先生成 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ，水稻初期生長主要依賴 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 之供應。其後 NH_4^+ 大量被固定及部分經硝化作用生成 NO_3^- ，因此水稻分蘖期或膝高期後成熟期前，尤其在抽穗期，氮的供應及作物吸收主要為 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ， $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 為輔。我們由表一結果可知，二地無論施用化肥或豬糞堆肥，在不同水稻生長期土壤中都有相當量之 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ，這對生長初期均屬合宜，但在生長盛期後未轉化為 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ，在養分供應分配上可能有失平衡。

在抽穗期極需養分時期，如能提供足夠 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ，對保障水稻正常生長極為重要。我們比較埤頭及名間二試區，無論施用化肥或堆肥，在水稻抽穗期，埤頭土壤中之 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均在 $17 \sim 22 \text{mg/kg}$ 之水準，而名間試區同生長期只有 $12 \sim 13 \text{mg/kg}$ ，偏低甚多，造成名間試區水稻後期生長落後，導致產量下降。但至成熟期，名間試區土壤中卻仍有高水平之 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ $29 \sim 33 \text{mg/kg}$ ，而埤頭試區已下降至 $15 \sim 18 \text{mg/kg}$ ，名間試區在水稻成熟期仍含高量 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ，已屬浪費！這需要在總施肥量及追肥手段上去改進，才能達成合理施肥之目標。

我們現在要檢討的是兩試區之施肥方法及施肥量均相同，水稻均為化肥 $140-80-60 (\text{kg/ha})$ 及各種有機肥處理比照含 N 率再以 50 % 有效率計算。我們不免要問，如果埤頭試區水稻產量（化肥處理達 9.4t/h ，有機肥亦在 $6.5 \sim 8.0 \text{t/h}$ 之間）屬高產，施肥方法算合理，則對名間試區水稻產量（化肥區 5.2t/ha ，有機肥區 $3.7 \sim 4.4 \text{t/h}$ ）顯屬偏低，而且相差很多，除名間試區植稻晚二週會影響最後產量外（一般影響產量在 20 %），超過 20 % 產量降低應與施肥方法，尤其基肥、追肥之分配比是否符合水稻不同生長期所需有關。我們從土壤中有效性氮在名間試區不同水稻生長期呈現之供給比例量，明顯失序。所以在本文開頭所揭示之因作物不同生長期及不同肥力反應，我們在施肥手段上就應調整基肥、追肥之施肥量比例及施肥時間，以符合適時適地之施肥原則。所以筆者一直懷疑我們對施肥方法墨守成規，追隨所謂“慣行施肥量”及“標準施肥方法”，而不求隨時（作物生長態勢及氣候變化）隨地（土壤性質，尤其肥力動態變化）深入檢討，而求改進，深為憂心，而身為教師，更感惶愧！

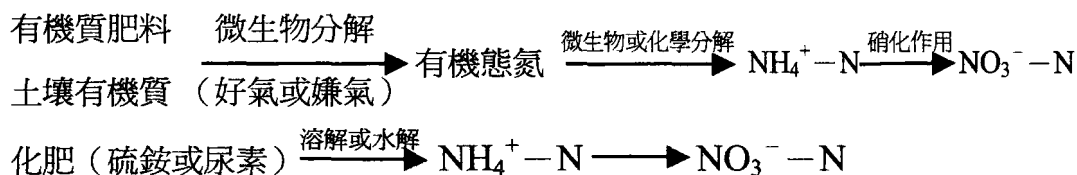
主要資料來源：

1. 莊作權、曾國力、蔡宜峰、陳鴻基，1998，施用有機複肥及堆肥對不同土壤及不同作物生長期土壤肥力變化之影響，土壤與環境 vol.1(3):185-200
 2. 莊作權，1965，如何達成合肥施肥，台糖農務講習班教材。
-

作物會選擇來自有機氮肥或化學氮肥中之 NH_4^+ 嗎？

施用有機肥料可以提供養分，也可培植土壤肥力。化學肥料之施用主要為供給較有機肥料迅速有效之養分，但極少有培植基本地力之功能，因此我們應知施用有機肥料或化學肥料，各有其功能範圍，不可一味強調施用有機肥料之好處。而且就肥料價格成本言，施用同樣足夠之有效 N 成分肥料，施用有機肥料之成本太高，絕非一般農作物之產出物能抵銷成本，更談不上利潤。

讓我們先瞭解一下各種含 N 肥料之大致分解為氮素養分之過程：



以上之分解過程因作用及土壤環境同，有速度上之差異，但其最後養分型態都是離子態的 NH_4^+ 及 NO_3^- (及 NO_2^-)，可為作物吸收利用，而且作物沒有能力去區別來自有機肥或化肥分解後之 NH_4^+ 及 NO_3^- 或能選擇性去吸收。所以我們常認為施用有機肥可改進品質是因為吸收有機肥分解後之 NH_4^+ 或 NO_3^- ，這是不正確的，作物因而品質改進是因為施用有機肥料同時可改良土壤性質及環境，以及可能一些有利於養分吸收之有機成分，如簡單的氨基酸或某些有機酸，但仍需進一步之研究支持。

還有很多人認為施用有機肥料不會累積 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ，這要看有